



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**TECHNOLOGIE VÝROBY TVÁŘECÍCH NÁSTROJŮ**

PRODUCTION TECHNOLOGY OF FORMING TOOLS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Michal Zubčák

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Karel Osička, Ph.D.

**BRNO 2021**

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Michal Zubčák**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Karel Osička, Ph.D.**  
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Technologie výroby tvářecích nástrojů

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracovat formou rešerše rozbor tvářecí technologie protlačování. Pro zadané konkrétní díly lisovacího nástroje (průtlačník a průtlačnici) navrhnout kompletní technologii výroby.

### Cíle bakalářské práce:

Rozbor tvářecí technologie protlačování.  
Návrh technologie výroby průtlačníku.  
Návrh technologie výroby průtlačnice.  
Technicko–ekonomické zhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

KOCMAN, K. a J. PROKOP. Technologie obrábění. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

FOREJT, M. a M. PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

DVOŘÁK, M., F. GAJDOŠ. a K. NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2003. 169 s. ISBN 80-214-2340-4.

Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ, s.r.o. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-9722 99-4-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

**ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologie výroby tvářecích nástrojů pro technologii protlačování (průtlačník a průtlačnice pro konkrétní operaci). Bude se jednat o kusovou výrobu. Výsledkem práce by měl být technologický postup pomocí kterého bude dosaženo požadované kvality nástrojů za přijatelných nákladů. Zvláštní důraz pak bude kladen na využití nástrojů z kubického nitridu boru místo technologie broušení.

**Klíčová slova**

protlačovací nástroj, obrábění, technologický postup, soustružení pomocí nástrojů z CBN

**ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with design production technology of forming tools for extrusion technology (for specific operation). It will be production of small batch. The result of the thesis should be technological process that guarantees required quality of tools for acceptable costs. Special emphasis will be placed on the use of tools made by cubic boron nitride instead of grinding technology.

**Key words**

extrusion tool, machining, technological process, turning by CBN tools

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ZUBČÁK, Michal. *Technologie výroby tvářecích nástrojů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132316>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Karel Osička.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Technologie výroby tvářecích nástrojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21. 5. 2021

Datum

Michal Zubčák

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Karlu Osíčkovi Ph.D., za cenné rady a připomínky v průběhu psaní práce. Dále bych chtěl poděkovat Panu Michalu Hrdličkovi, vedoucímu nástrojárny v Metaldyne Oslavany spol. s r. o., za cenné připomínky z praxe. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině za podporu v průběhu celého studia.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	9
1 PROTLAČOVÁNÍ .....	10
1.1 Polotovár pro protlačování .....	10
1.2 Protlačovací síla .....	11
1.2.1 Určení síly z přetvárného odporu.....	11
1.2.2 Určení síly z deformačního odporu .....	12
1.3 Protlačovací nástroj .....	13
2 POSOUZENÍ TECHNOLOGIČNOSTI .....	14
2.1 Dodávaný materiál .....	14
2.2 Technologičnost průtlačníku .....	14
2.2.1 Funkční plochy průtlačníku .....	15
2.2.2 Ostatní plochy průtlačníku.....	16
2.3 Technologičnost průtlačnice .....	16
2.3.1 Funkční plochy průtlačnice.....	17
2.3.2 Ostatní plochy průtlačnice .....	18
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PRŮTLAČNÍKU .....	19
3.1 Volba technologické základny .....	19
3.2 Volba upínače.....	19
3.3 Volba nástrojů .....	19
3.3.1 Soustružení.....	19
3.3.2 Vrtání a navrtávání.....	21
3.4 Volba stroje .....	21
3.4.1 Dělení materiálu.....	21
3.4.2 Soustružení.....	22
4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PRŮTLAČNICE.....	24
4.1 Volba technologické základny .....	24
4.2 Volba upínače.....	24
4.3 Volba nástrojů .....	24
4.3.1 Vrtání a navrtávání.....	25
4.3.2 Soustružení.....	25



4.3.3	Broušení .....	26
4.4	Volba stroje .....	27
4.4.1	Broušení .....	27
5	DOKONČENÍ FUNKČNÍCH PLOCH POMOCÍ LEŠTĚNÍ .....	28
6	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	29
	ZÁVĚR .....	32
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	33
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	36
	SEZNAM PŘÍLOH.....	38

## ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá návrhem technologického postupu výroby konkrétní nástrojové sestavy, tedy průtlačníku a průtlačnice, které jsou vyráběny podle výkresové dokumentace v množství pět kusů. Bude se tedy jednat o kusovou výrobu. Avšak je zde předpoklad, že by se výroba mohla opakovat každý měsíc.

Nejprve práce teoreticky rozebere technologii protlačování. Bude popsáno základní rozdělení metody na dopředné, zpětné a stranové protlačování. Dále bude uvedena volba a úprava polotovaru, výpočet protlačovací síly a stručný popis protlačovacího nástroje. Dále budou představeny konkrétní možnosti, jak lze konkrétní nástrojovou sestavu vyrábět.

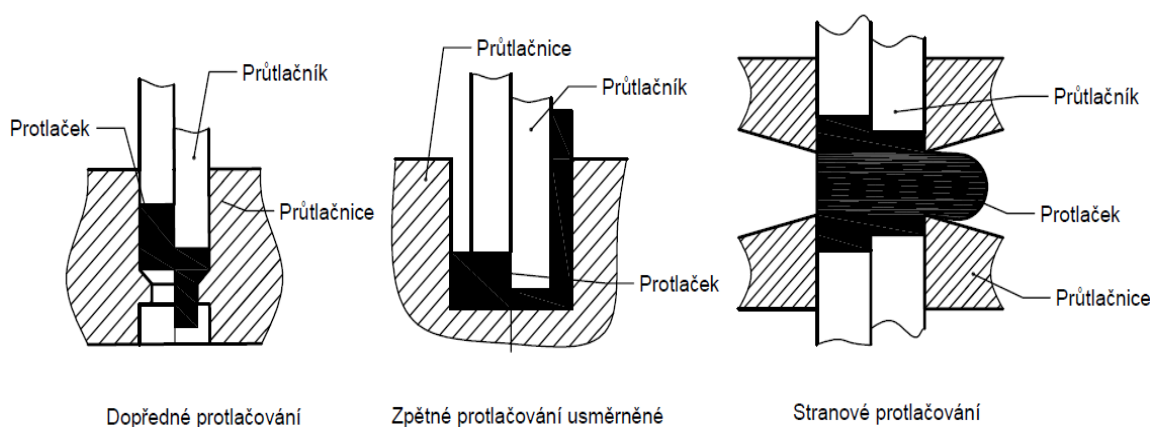
Cílem práce je navrhnout takový technologický postup, který bude pro dokončování v co největší míře využívat moderní nástrojové materiály z kubického nitridu boru. Tento způsob dokončování bude použit místo konvenčního broušení, které by bylo vzhledem k tvarové složitosti především funkčních ploch časově velmi náročné. Právě tato náročnost by se mohla negativně promítnout do ceny tvářených dílů.

Funkční plochy celé popisované nástrojové sestavy mají být dokončeny pomocí technologie leštění. Proto bude další důležitou součástí práce výběr nástrojů pro tuto technologii. Zejména se bude jednat o leštící pasty, které jsou podstatné k dosažení požadované drsnosti povrchu na funkčních plochách. Především tyto plochy budou totiž při používání nástroje ve výrobě ovlivňovat jeho životnost a kvalitu tvářených součástí.

Dalším neméně významným prvkem bude samotné soustružení, které může výrazně ovlivnit cenu nástrojové sestavy a tím tedy i cenu koncových produktů. Výsledkem práce by tedy měl být takový technologický postup, který bude časově, ale také ekonomicky výhodný. Zároveň by však měl mít potenciál k dalšímu zdokonalování a optimalizaci.

## 1 PROTlačOVÁNÍ

Protlačování lze rozdělit na tři typy podle toku materiálu na dopředné, zpětné a stranové (obr. 1). Dopředné protlačování je jednou ze základních technologií objemového tváření. Při této technologii je použit jako polotovaz tyčový materiál, který vytéká z oka průtlačnice také jako tyčový materiál, ale o jiném průřezu. Další metodou je protlačování zpětné. Při něm teče materiál polotovaru (tyčového přířezu) proti směru pohybu průtlačníku mezikružím, které tvoří mezera mezi průtlačníkem a průtlačnicí. Poslední základní protlačovací metodou je protlačování stranové, kdy je směr toku materiálu kolmý na směr pohybu beranu lisu [1] [2] [3].

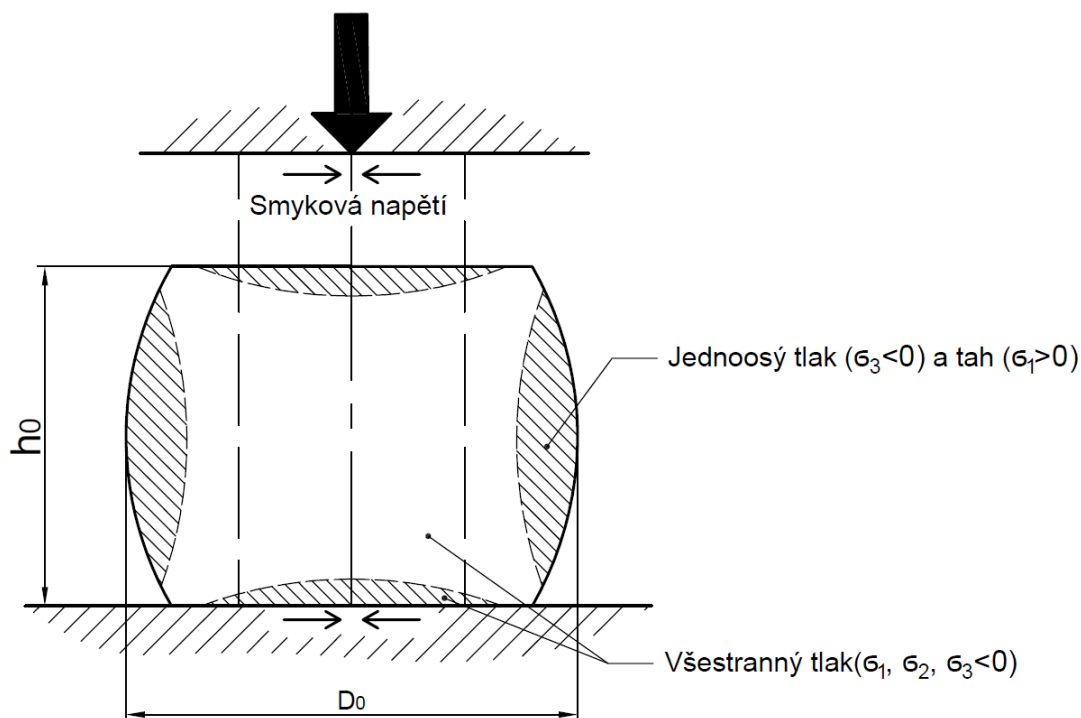


Obr. 1: Rozdělení protlačování, dle [1].

### 1.1 Polotovaz pro protlačování

Velikost polotovaru určíme snadno ze vztahu  $h_0 \cdot S_0 = V_1$ , protože průměr polotovaru  $D_0$  bude stejný jako průměr průtlačnice.

Jako polotovary pro protlačování se používají přístřihy z tyčí válcového průřezu tzv. špalíky ( $h_0 < D_0$ ) a kaloty ( $h_0 > D_0$ ), podle potřeby i s vrtanou dírou. Špalíky, které se získávají stříháním tyčí kruhového průřezu, musí před samotným protlačováním projít omílacím bubnem, aby se zbavili otřepů. Dále je nutné zkalibrovat polotovaz pýchováním na požadovanou výšku  $h_0$  (zobrazeno na obr. 2), následuje normalizační žihání nebo žihání naměkko kvůli obnovení plasticity materiálu, a nakonec je nutné provést povrchovou úpravu (moření, odmaštění, fosfátování a napuštění fosfátované vrstvy mazivem). Kaloty se vyrábí stříháním plechů větší tloušťky a po vystřížení následuje stejný postup jako v případě špalíku (vynechává se pouze kalibrace pýchováním). [2]



Obr. 2: Schéma pěchování dle [4].

## 1.2 Protlačovací síla

Protlačovací síla je síla, kterou musí vyvinout beran lisu. Je závislá na druhu protlačovaného materiálu, čelní činné ploše průtlačníku, tloušťce stěn protlačku, drsnosti činných ploch nástroje a způsobu mazání [2].

### 1.2.1 Určení síly z přetvárného odporu

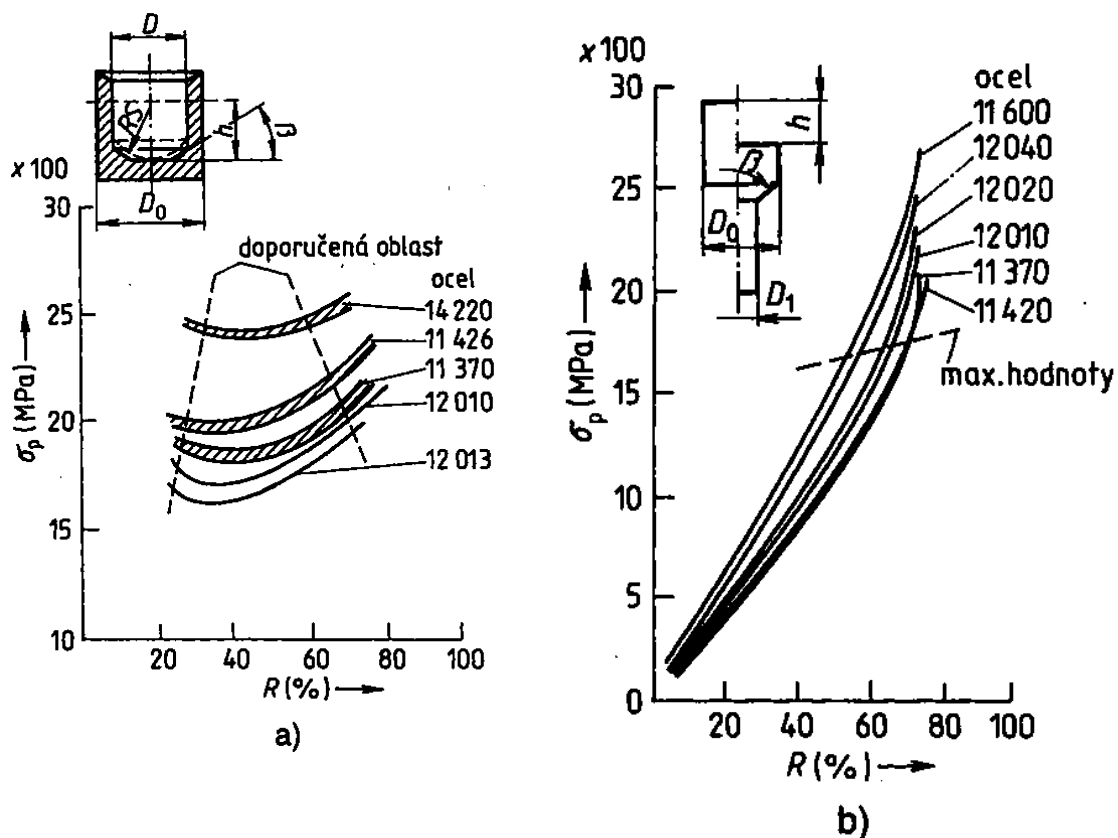
Protlačovací sílu je možné určit pomocí rovnice (1):

$$F = \sigma_p \cdot S, \quad (1)$$

kde  $\sigma_p$  je přetvárný odpor a  $S$  je činná plocha průtlačníku. Přetvárný odpor určíme ze závislosti na stupni deformace, který je možné při protlačování stanovit z redukce průřezu výchozího polotovaru a ten je možné určit z rovnice (2):

$$R = \frac{S_0 - S_1}{S_1} \cdot 100, \quad (2)$$

kde  $S_0$  je plocha průřezu polotovaru a  $S_1$  je plocha průřezu protlačku. Vypočtenou redukci je následně nutné aplikovat v diagramu na obr. 3. V praxi jsou však přetvárné odpory závislé na mnoha dalších faktorech jako je chemické složení tvářeného materiálu, stav napjatosti vyvolaný vnějšími silami, stupni deformace a zpevnění materiálu, rychlosti deformace, teplotě tvářeného materiálu. [2]

Obr. 3: Závislost přetvárného odporu  $\sigma_p$  na redukci [2]:

a) Dopředné protlačování; b) zpětné protlačování.

### 1.2.2 Určení síly z deformačního odporu

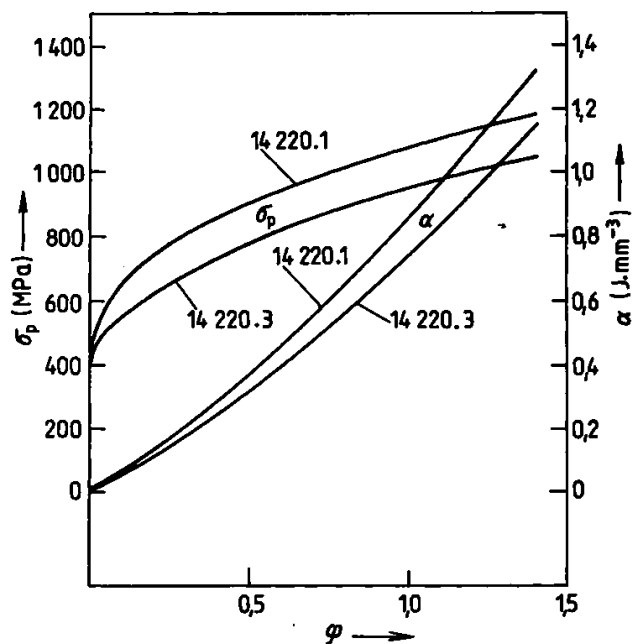
Přesnější určení protlačovací síly lze provádět z deformačního odporu  $\sigma_d$  pomocí rovnice (3):

$$F = \sigma_d \cdot S. \quad (3)$$

Pro výpočet deformačního odporu se objevuje mnoho vztahů podle druhu protlačování. Pro dopředné protlačování lze použít například řešení dle Siebla, které platí i pro zpětné protlačování a je uvedeno v rovnici (4). Toto řešení je vhodné pro ocelové a mosazné kalíšky s tenkými stěnami:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{D_0^2}{D_1^2} \left( \log \frac{D_0^2}{D_0^2 - D_1^2} + \frac{D_0^2}{D_0^2 - D_1^2} \cdot \log \frac{D_0^2}{D_1^2} + \log \frac{D_1^2}{D_0^2 - D_1^2} \right). \quad (4)$$

Hodnota přetvárného odporu  $\sigma_p$  se odečte z diagramu pro příslušnou logaritmickou deformaci ( $\varphi = \ln \frac{D_0^2}{D_0^2 - D_1^2}$ ) a materiál. Příklad diagramu je znázorněn na obr. 4. Další možností řešení dopředného protlačování může být například metoda dle Feldmanna. Zpětné protlačování naopak řeší například metody dle Dippera nebo Thomsona [2] [3].



Obr. 4: Křivky přetvárného odporu pro ocel 14 220 [2].

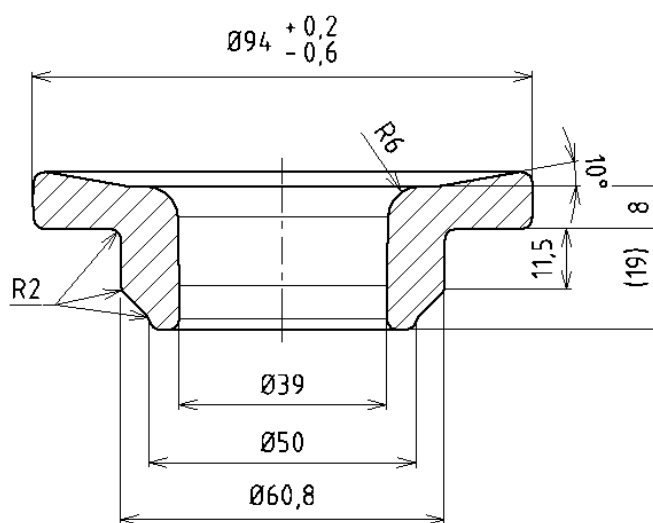
### 1.3 Protlačovací nástroj

Protlačovací nástroj je sestava dvou součástí, průtlačníku a průtlačnice. Oba tyto díly jsou vyrobeny z nástrojové oceli, zakaleny a popuštěny na cca 60 HRC. Důležitým faktorem při protlačování je tření, a proto je důležitá povrchová úprava polotovaru před protlačováním a drsnost povrchu funkčních ploch nástroje, zvláště pak při aplikaci této technologie zastudena.

Funkční plochy nástroje mají zpravidla vysoké požadavky na geometrickou a rozměrovou přesnost a na drsnost povrchu. Proto musí být při výrobě použity odpovídající technologie a nástroje. Obecně známou technologií pro výrobu takových součástí je broušení. Tato technologie je však poměrně drahá a málo produktivní. Další možností je využití vyměnitelných břitových destiček (dále jen VBD) z polykrystalického kubického nitridu boru (dále jen CBN), která je oproti broušení produktivnější. [5] [6] [7]

## 2 POSOUZENÍ TECHNOLOGIČNOSTI

Hlavní důraz při výrobě bude kladen na funkční a ustavovací plochy průtlačníku a průtlačnice. Funkční plochy se dají určit dle tvářeného dílu zobrazeného na obr. 5 a podle požadované přesnosti a jakosti povrchu obrobených ploch, které mají být vyrobeny s tolerancí v řádech setin milimetru a drsností povrchu  $R_z = 1 \mu\text{m}$ . Všechny tyto plochy mají být leštěny. Ostatní plochy jsou tolerovány v řádech setin až desetín milimetru, avšak požadavky na jakost povrchu jsou mnohem menší, tudíž je bude možné dokončit ještě před tepelným zpracováním. Výkresy obou součástí jsou v přílohách, průtlačník v příloze 1 a průtlačnice v příloze 2.



Obr. 5: Díl tvářený vyráběným nástrojem.

### 2.1 Dodávaný materiál

Materiály 1.3343 a 1.2358 nejsou dodávány v normalizovaných rozměrech. Tudíž budou dodány dle požadavku zákazníka v předem stanovených rozměrech. V případě průtlačníku se bude jednat o válcovanou tyč o průměru 58 mm s délkou 900 mm. V případě průtlačnice to bude opět válcovaná tyč, ale o průměru 100 mm s délkou 500 mm. Tyto válcované tyče budou nařezány dle výkresové dokumentace na jednotlivé polotovary [8] [9].

### 2.2 Technologičnost průtlačníku

Průtlačník je rotační válcově symetrická součást hřídelovitého tvaru, složená z výhradně vnějších válcových a kuželových ploch, která má být vyrobena z materiálu 1.3343, což je nástrojová ocel na bázi molybdenu dodávaná ve stavu žíhaném naměkko s tvrdostí do 270 HB. Její chemické složení je podrobně uvedeno v tabulce č. 1 [10] [11] [12].

Protože je podíl legur v materiálu vyšší než 5 %, lze jej klasifikovat jako vysoce legovanou nástrojovou ocel. V jejím složení jsou významně zastoupeny prvky jako chrom, molybden, nebo wolfram. Tyto prvky mají vždy negativní vliv na obrobitelnost, protože v materiálu tvoří karbidy, které zvyšují tvrdost materiálu. V materiálu jsou naopak

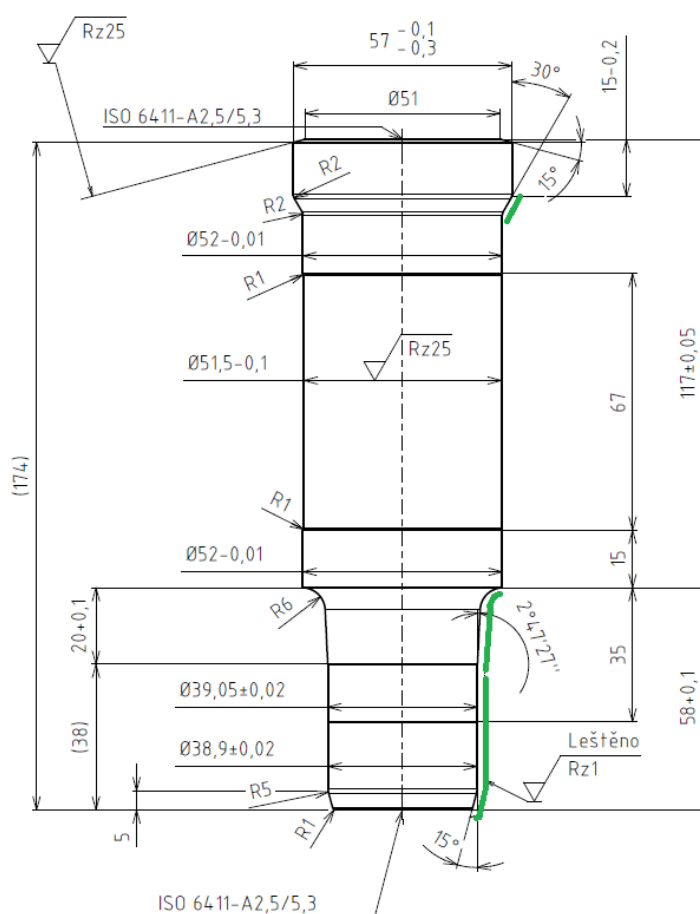
zastoupeny i prvky které obrobitelnosti pomáhají (síra a fosfor). Jejich zastoupení je však v poměru k ostatním legurám zhoršujícím obrobitelnost mizivé, a proto nebudou mít významný vliv. [13].

Tab. 1: Obsah prvků v oceli 1.3343 [11].

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr
Obsah [hm. %]	0,80–0,90	0,45	0,45	0,04	0,04	3,80–4,60
Prvek	Mo	W	V	Fe		
Obsah [hm. %]	4,50–5,50	5,50–7,00	1,50–2,20	82,92–87,02		

### 2.2.1 Funkční plochy průtlačníku

Průměry funkčních ploch průtlačníku mají být zhotoveny s mezními úchylkami  $\pm 0,02$  mm a s drsností povrchu  $R_z = 1 \mu\text{m}$ . Délky těchto ploch jsou tolerovány dle normy ISO 2768 s třídou přesnosti m (střední) nebo s mezními úchylkami  $+ 0,1$  mm. Dále byla jako funkční plocha označena kuželová plocha s úhlem  $30^\circ$ , protože bude zajišťovat polohu průtlačníku v sestavě tvářecího nástroje. Všechny tyto plochy jsou zobrazeny na obr. 6. a budou dokončovány až po tepelném zpracování součásti na požadovanou tvrdost a poté leštěny.



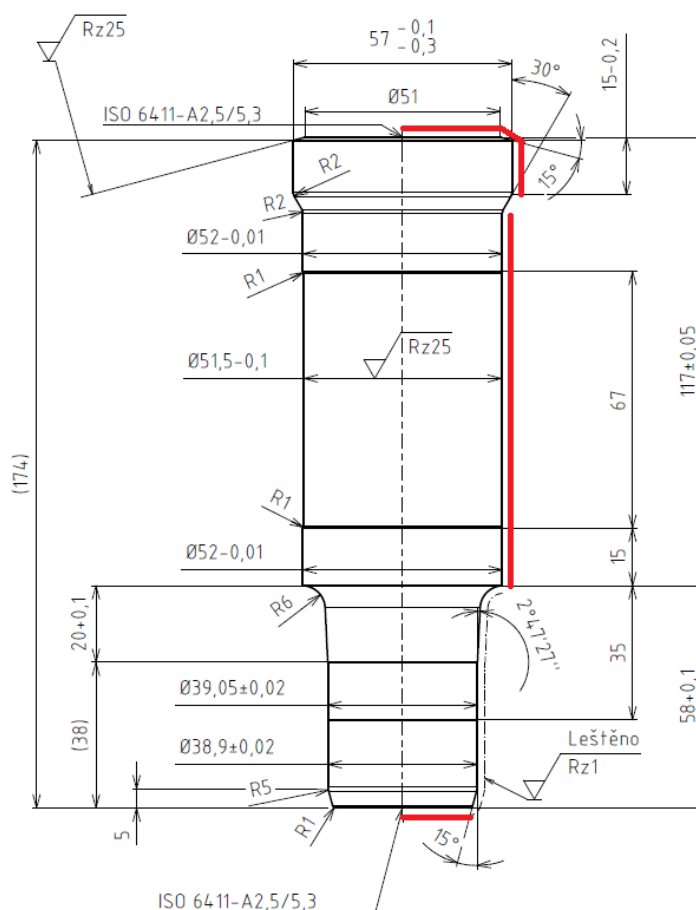


Obr. 6: Funkční plochy průtlačníku (zvýrazněno zeleně).

### 2.2.2 Ostatní plochy průtlačníku

Průměry ostatních ploch mají být zhotoveny s mezními úchytkami v řádech setin až desetín milimetru. Jejich délky jsou opět tolerovány dle normy ISO 2768 s třídou přesnosti m (střední). Většina ostatních ploch má mít ve výsledku drsnost povrchu  $R_z = 6,3 \mu\text{m}$  nebo  $R_z = 25 \mu\text{m}$ . Tyto plochy budou dokončeny ještě před tepelným zpracováním součásti na požadovanou tvrdost, protože nebudou ovlivňovat výslednou kvalitu protlačku.

Další plochy, které budou dokončeny ještě před zušlechťováním jsou čelní plochy součásti určující celkovou délku průtlačníku. Všechny tyto plochy jsou znázorněny na obr. 7.



Obr. 7: Plochy průtlačníku zhotovené na hotovo před tepelným zpracováním (červeně).

### 2.3 Technologičnost průtlačnice

Průtlačnice je rotační osově symetrická součást a má být zhotovena z materiálu 1.2358, tento materiál je nástrojová ocel na bázi chromu a vanadu, taktéž dodávána ve stavu žíhaném naměkko s tvrdostí maximálně 250 HB. Chemické složení použitého materiálu je podrobně uvedeno v tabulce 2. Obecně se tento materiál vyznačuje vysokou houževnatostí a dobrou odolností proti opotřebení. Tyto vlastnosti určují poměrně širokou paletu

využití. Od stříhání až po hluboké tažení, nebo právě protlačování větších tloušťek materiálu za studena i za tepla. [14] [15]

Stejně jako u průtlačníku lze dle podílu legur klasifikovat materiál jako vysoce legovanou nástrojovou ocel. Hlavním legujícím prvkem je chrom a společně s ostatními legurami obrobitelnost zhoršuje. Prvky, které obrobitelnost zlepšují jsou v tomto případě stejné jako v předchozím případě. Výjimkou je uhlík, který při koncentraci od 0,3 % do 0,6 % obrobitelnosti také napomáhá [13].

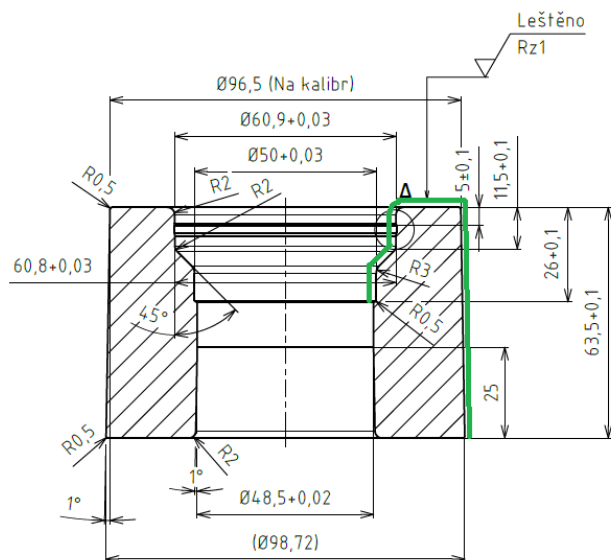
Tab. 2: Obsah prvků v oceli 1.2358 dle [14] [15].

Prvek	C	Mn	Si	P	S	Cr
Obsah [hm. %]	0,60	0,70	0,25	0,03	0,03	4,30
Prvek	Mo	V	Fe			
Obsah [hm. %]	0,40	0,20	93,49			

### 2.3.1 Funkční plochy průtlačnice

Všechny funkční plochy průtlačnice jsou vnitřní válcové případně kuželové. Tolerance průměrů funkčních ploch je 0,03 mm s výjimkou mělkého zápichu, jehož hloubka má mezní úchytku -0,03 mm. Délky jsou tolerovány v řádech desetin milimetru a požadavek na drsnost povrchu je v tomto případě  $R_z = 1 \mu\text{m}$ . Další funkční plocha je mezikruží na čele průtlačnice s požadavkem na povrch o jakosti také  $R_z = 1 \mu\text{m}$ . Všechny zmíněné plochy budou dokončovány po tepelném zpracování součásti na požadovanou tvrdost a poté leštěny.

Další funkční plochou je vnější kuželová plocha, která zajišťuje polohu průtlačnice v základní desce lisovacího nástroje. Drsnost této plochy má být  $R_z = 6,3 \mu\text{m}$  a její rozměr bude kontrolován pomocí mikrometru. Tato plocha bude broušena a také dokončena až po tepelném zpracování součásti. Všechny výše zmíněné plochy jsou znázorněny na obr. 8.



Obr. 8: Funkční plochy průtlačnice (zvýrazněno zeleně).

Obr. 9: Plochy průtláčnice dokončeny před tepelným zpracováním (červeně).

### 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PRŮTLAČNÍKU

Součást bude obrobena pomocí technologie soustružení. Proces obrábění bude rozdělen na dvě fáze. V první fázi bude nutné součást předhrubovat a všechny rozměry kromě funkčních obrobít hotově. V druhé fázi, která bude probíhat až po tepelném zpracování součásti na požadovanou tvrdost, budou dokončeny všechny funkční plochy. Podrobný technologický postup je v příloze 3.

#### 3.1 Volba technologické základny

Jako technologická základna byla zvolena válcová plocha s průměrem  $57_{-0,3}^{-0,1}$ , protože při upnutí za tento průměr bude možné soustružit téměř celou délku průtlačnice včetně všech funkčních ploch.

#### 3.2 Volba upínače

Pro upnutí součásti se nabízí více možností, ale jako nejvhodnější se jeví univerzální tříčelistové sklíčidlo doplněné o otočný hrot, který zlepší stabilitu součásti. Konkrétně se bude jednat o otočný hrot OPTIMUM s kuzelem morse 3 pro maximální otáčky  $4500 \text{ min}^{-1}$  [16].

#### 3.3 Volba nástrojů

Nástroje jsou zvoleny dle prováděné operace (hrubování, dokončování) a podle aktuální tvrdosti obráběného materiálu, která je dána výkresovou dokumentací, nebo dodavatelem materiálu. Pro obrábění za měkka jsou použity VBD ze slinutého karbidu typu P. Pro obrábění v zušlechťeném stavu bude využito VBD z CBN kvůli tvrdosti 60+2 HRC [5].

##### 3.3.1 Soustružení

Pro hrubování v měkkém stavu byl zvolen soustružnický nůž DCLNR 2020 K 12 s VBD CNMG 120408-PR-4325. Základní parametry a řezné podmínky pro tento nástroj jsou uvedeny v tabulce 3. Pomocí tohoto nože budou předhrubovány všechny rozměry průtlačníku (délkové i průměrové). Materiál VBD je slinutý karbid GC 4325. Tento materiál odpovídá oblasti použití ISO P25 a vyznačuje se zvýšenou tepelnou odolností, díky které lze používat vyšší řezné rychlosti nebo dosahovat vyšší trvanlivosti [17].

Tab. 3: Řezné podmínky pro CNMG 120408-PR-4325 dle [18] [19].

Označení	DCLNR 2020 K12		
Označení VBD	CNMG 120408-PR 4325		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD
$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
150	2	0,35	GC 4325

Dalším nástrojem je soustružnický nůž DCLNR 2020 K 09 s VBD CNMG 090308-PM-4425, který je obdobný jako nástroj použitý pro hrubování v měkkém stavu. Bude použit pro dokončování v měkkém stavu. Materiál VBD je GC 4425, což je univerzální slinutý karbid pro soustružení ocelí (oblast aplikace ISO P25). Vyznačuje se dobrou odolností proti otěru, houževnatostí a tepelnou odolností. Řezné podmínky pro tuto VBD jsou uvedeny v tabulce 4. Tímto nástrojem budou dokončeny všechny plochy průtlačnice, které nebyly

klasifikovány jako funkční, ještě před tepelným zpracováním součásti na tvrdost  $60^{+2}$  HRC [20].

Tab. 4: Řezné podmínky pro CNMG 090308-PM-4425 dle [18] [19].

Označení	DCLNR 2020 K 09		
Označení VBD	CNMG 120408-PR-4425		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
170	1	0,10	GC 4425

Při dodržení řezných podmínek uvedených výše by měla drsnost obrobené plochy po dokončení v měkkém stavu dosahovat hodnot  $R_a = 0,72 \mu m$  (uvedeno v tabulce 5). Dle tabulky 6. odpovídá výše zmíněná hodnota drsnosti menší než  $R_z = 6,3 \mu m$  [18] [21].

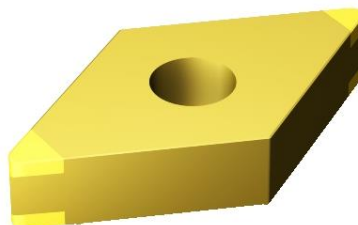
Tab. 5: Dosahované hodnoty drsnosti  $R_a$  podle velikosti posuvu a rádiusu špičky [18].

	Rádus špičky $r_e$ [mm]				
	0,4	0,5	0,8	1	1,2
$f$ [mm]	Dosahovaná drsnost $R_a$ [ $\mu m$ ]				
0,07	0,72	0,58	0,37	0,30	0,25
0,08	0,93	0,75	0,47	0,38	0,32
0,10	1,41	1,13	0,72	0,58	0,48
0,12	1,98	1,60	1,01	0,82	0,68

Tab. 6: Převod  $R_a$  na  $R_z$  [21].

$R_a$ [ $\mu m$ ]	$R_z$ [ $\mu m$ ]
0,8	6,3
0,8	4,0
0,2	2,5
0,1	1,0

Posledním soustružnickým nožem použitým k výrobě průtlačníku bude DNJR 2020K 11 s VBD DNGA 110408-SO-1525-H7115. Nástroj bude použit pro dokončování ve stavu po tepelném zpracování. Vlastní břit VBD je vyroben z materiálu CB7115, což je CBN určený pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi při spojitých až lehce přerušovaných řezech. Tento břit je připájen do tělesa z houževnatého slinutého karbidu (znázorněno na obr. 10). Řezné podmínky pro tento nástroj jsou uvedeny v tabulce 7. Zmíněný nástroj bude použit pro dokončení funkčních ploch obrobku v tvrdém stavu, které budou následně ještě leštěny [22].



Obr. 10: VBD DNGA 110408-SO-1525-H7115 [23].

Tab. 7: Řezné podmínky pro DNGA 110408-SO-1525-H7115 dle [18] [19].

Označení	DNJR 2020K 11		
Označení VBD	DNGA 110408-SO-1525-H7115		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
180	0,1	0,06	CB 7115

### 3.3.2 Vrtání a navrtávání

Pro vyvrtání středícího důlku ISO 6411 A2,5/5,4 byl zvolen středící vrták: VRTÁK A2,5 ČSN 22 1110. Řezné podmínky pro tento nástroj jsou uvedeny v tabulce 8, tyto podmínky však budou v praxi jiné z důvodu omezení otáček na  $900 \text{ min}^{-1}$  kvůli malému průměru nástroje [24].

Tab. 8: Řezné podmínky pro středící vrták.

Označení	A2,5 ČSN 22 1110		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
25		0,1	HSS

### 3.4 Volba stroje

Volba stroje bude probíhat na základě již dostupného strojového vybavení v nástrojárně. Dále budou zohledněny rozměry součástí, požadavky na přesnost a drsnost povrchu.




#### 3.4.1 Dělení materiálu

Pro dělení materiálu byla zvolena pásová pila PEGAS GONDA 400 PROFI-A-CNC (obr. 11). Pila je určena na dělení materiálu v kolmých řezech a díky robustnější konstrukci je určena především pro plné průřezy. Maximální možné řezané průřezy na tomto stroji jsou zobrazeny v tabulce 9. Použitý pilový pás bude mít rozměr  $4520 \times 34 \times 1,1$  (dle specifikace pily). Konkrétně se bude jednat o Radial M42 od společnosti Honsberg [25] [26].



Obr. 11: pásová pila PEGAS GONDA 400 PROFI-A-CNC.

Tab. 9: Maximální průřezy, které je možné řezat [25].

Profil	Pás kolmo k ose materiálu
	Ø400 mm
	Ø250 mm
	400×400

### 3.4.2 Soustružení

Pro soustružení hlavního tvaru součásti bylo zvoleno CNC soustružnické centrum DMG MORI NLX 2500 MC. Jehož hlavní parametry jsou uvedeny v tabulce 10 a je zobrazeno na obr. 12. Toto soustružnické centrum umožňuje upnout dvanáct nástrojů do revolverové hlavy a všechny mohou být hnané [27].

Tab. 10: Parametry soustružnického centra DMG MORI NLX 2500 MC [27].

Max. průměr soustružení	366 mm
Pojezd v ose x	795 mm
Pojezd v ose y	260 mm
Max. otáčky motoru vřetena	4000 min <sup>-1</sup>
Průchodnost vřetena	80 mm
Příkon	18,5 kW



Obr. 12: Soustružnické centrum DMG MORI NLX 2500 MC.



## 4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY PRŮTLAČNICE

Výrobu součástí bude nutné opět rozdělit do několika fází. Nejprve bude nutné nařezaný polotovár vyhrubovat v měkkém stavu a všechny plochy, které nemají být funkční, obrobit hotově. V další fázi, po tepelném zpracování, bude nutné dokončit všechny funkční plochy kromě vnější kuželové. Tato plocha bude broušena, protože by bylo velmi obtížné dosáhnout požadované přesnosti pomocí technologie soustružení. Podrobný technologický postup je v příloze 4.

### 4.1 Volba technologické základny

Jako technologická základna byla zvolena vnitřní válcová plocha s průměrem  $48,5^{+0,02}$ , protože při upnutí za tuto plochu bude možné obrobit všechny funkční plochy na součásti.

### 4.2 Volba upínače

Pro upnutí za zvolenou technologickou základnu bude využito rozpínacího trnu KEM-ES-A5 s rozsahem 41,1 až 82,7 mm se zapuštěným pouzdrem (obr. 13). Aby se tato technologická základna dala využít, bude nutné ji nejdříve obrobit. V této operaci bude průtlačnice upnuta pomocí univerzálního tříčelistového sklíčidla [28].



Obr. 13: Rozpínací trnu KEM-ES-A5 [28].

### 4.3 Volba nástrojů

Nástroje budou voleny dle aktuálních vlastností obrobku a prováděné operace (hrubování, dokončování). Pro měkké obrábění budou zvoleny slinuté karbidy typu P, pro obrábění ve tvrdém stavu VBD z CBN. Dalším nástrojem, který bude potřeba vhodně zvolit je brousicí kotouč pro dokončení vnější kuželové plochy.

### 4.3.1 Vrtání a navrtávání

Pro vrtací operaci bude použit nástroj o průměru 40 mm. Jedná se konkrétně o držák 880-4000L40-02 (zobrazen na obr. 14). Pro tento nástroj budou použity dva druhy VBD, obvodová a středová. Obvodová VBD bude 880-0704 W12H-P-GR 4344 a jako centrální 880-0704 06H-C-GR 1044. Řezná rychlost pro tento nástroj je uvedena v tabulce 11. Centrální VBD je určena pro nižší řezné rychlosti než obvodová.



Obr. 14: Vrták s VBD (880-4000L40-02) [29].

Tab. 11: Řezné podmínky pro vrták průměru 40 dle [30].

Označení	880-4000L40-02			
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD	Materiál VBD
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	Centrální	Obvodová
175		0,24	GR 1044	GR 4344

### 4.3.2 Soustružení

Pro vnější obrábění budou použity stejné nástroje jako v případě průtláčnicku i se stejnými řeznými podmínkami, které jsou uvedeny v tabulkách č. 3., 4. a 7. Další potřebné nástroje budou vrtáky a vnitřní soustružnické nástroje.

Pro soustružení otvoru budou použity tři nástroje. Pro hrubování v měkkém stavu to bude soustružnický nůž A32T-SSKCR 12 s VBD SCMT 120412-PR-4325. Materiál VBD byl popsán výše. Řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12: Řezné podmínky pro SCMT 120412-PR 4325 (hrubování) dle [18] [19].

Označení	A32T-SSKCR 12		
Označení VBD	SCMT 120412-PR 4325		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
120	1,75	0,37	GR 4325

Dokončení všech vnitřních válcových ploch, které nebyly klasifikovány jako funkční, bude provedeno stejným nástrojem jako hrubování. Změní se pouze řezné podmínky, a ty jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13: Řezné podmínky pro SCMT 120412-PR 4325 (dokončování) dle [18] [19].

Označení	A32T-SSKCR 12		
Označení VBD	SCMT 120412-PR 4325		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
135	1,75	0,24	GR 4325

Všechny vnitřní funkční plochy budou dokončeny až po tepelném zpracování při tvrdosti materiálu  $58^{+2}$  HRC soustružnickým nožem A20M-SDXCR 11-R s VBD DCGW 11T312 S0 1020 F 7115. Materiál VBD je opět CB 7115, jehož vlastnosti byly popsány výše. Řezné podmínky pro tento nástroj jsou uvedeny v tabulce 14.

Tab. 14: Řezné podmínky pro DCGW 11T312S01020F 7115 dle [18] [19].

Označení	A20M-SDXCR 11-R		
Označení VBD	DCGW 11T312 S0 1020 F 7115		
$v_c$	$a_p$	$f$	Materiál VBD
$[m \cdot min^{-1}]$	$[mm]$	$[mm]$	
145	0,1	0,05	CB 7115

### 4.3.3 Broušení

Pro broušení vnější kuželové plochy byl zvolen brousicí kotouč od společnosti Tyrolit. Konkrétně se jedná o 350×32×127 89A 802J5 AV217. Brusná zrna jsou z oxidu hlinitého (tzv. korund) se zrnitostí 80 (jemná). Pojivo je keramické. Tento brousicí kotouč je vhodný pro broušení na kulato (zapichovací i podélný způsob) a rovinné broušení materiálu s různými tvrdostmi až do 67 HRC. Podrobnější popis a řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce 15. [31] [32].

Tab. 15: Řezné podmínky pro brousicí kotouč 89A 802J5 AV217 dle [33].

Rozměr	350×32×127			
Označení	89A 802J5 AV217			
$v_c$	$a_p$	$f$	Otáčky obrobku	Materiál brusiva
$[m \cdot s^{-1}]$	$[mm]$	$[m \cdot min^{-1}]$	$[min^{-1}]$	
30	0,010–0,002	10–15	60	Bílý korund

Šířka záběru je v rozsahu 0,010–0,002 mm. Tento rozsah bude upraven obsluhou stroje podle situace. Pokud se bude jednat o hrubování, bude tloušťka záběru na horní hranici rozsahu (0,01 mm). Stejná situace nastává v případě posuvu.

#### 4.4 Volba stroje

Protože rozměry, požadavky na přesnost a drsnost povrchu jsou téměř stejné jako v případě průtláčnicku, byly pro dělení materiálu a soustružení součásti v případě průtláčnice zvoleny stejné stroje. Jejich parametry jsou popsány výše.

##### 4.4.1 Broušení

Broušení vnějšího kuželu průtláčnice bude probíhat podélným způsobem na CNC hrotové brusce Junker Lean Selection allround (obr. 15). Základní údaje o stroji jsou uvedeny v tabulce 16. Orovnávání kotoučů probíhá za pomoci CNC řízení buď ručně, nebo pomocí programu [34].

Tab. 16: Základní parametry CNC brusky Junker Lean Selection allround [34].

Vzdálenost mezi hroty	800 mm
Výška hrotů	130 mm
Max. hmotnost obrobku	80 kg
Průměr brousícího kotouče	290–400 mm



Obr. 15: CNC hrotová bruska Junker Lean Selection allround.

## 5 DOKONČENÍ FUNKČNÍCH PLOCH POMOCÍ LEŠTĚNÍ

Na výkrese je v obou případech předepsána jako dokončovací operace pro funkční plochy leštění. U této operace je úběr materiálu minimální a odstraní se pouze stopy po předchozím obrábění, které určuje tvarovou i rozměrovou přesnost (tato přesnost se leštěním nezlepší). Leštění bude probíhat ve třech krocích ručně [35].

Nejprve bude nutné leštěnou plochu obrousit pomocí abraziva pevně vázaného na textilní podklad. Použity budou lamelové kotouče se stopkou (obr. 16) se zrnitostí P180, P240 a P320 ve zmíněném pořadí. Dalším krokem bude použití diamantové lešticí pasty, s velikostí zrn abraziva  $14\text{ }\mu\text{m}$ , poté  $8\text{ }\mu\text{m}$  a nakonec  $6\text{ }\mu\text{m}$ . Zmíněné pasty budou nanесeny na netkanou textilii ve formě filcových tělísek různých tvarů (obr. 16). Jako poslední budou opět použita samotná, čistá filcová tělíska pro odstranění zbytku lešticí pasty a nečistot. Vzhledem k počtu vyráběných kusů bude leštění probíhat ručně. Při nedosažení požadované drsnosti povrchu  $R_z = 1\text{ }\mu\text{m}$  bude možné použít lešticí pasty s jemnějším abrazivem ( $3\text{ }\mu\text{m}$  a  $1\text{ }\mu\text{m}$ ). Tento postup bude proveden u obou součástí [36] [37].



Obr. 16: Nástroje pro leštění [37] [38].  
a) lamelový kotouč se stopkou, b) filcové tělísko se stopkou.

Pro kontrolu dosažené drsnosti bude využito konturografu MarSurf VD 280. Zařízení lze použít pro měření drsnosti povrchů nebo pro snímání obrysu v délce až 280 mm. Konturograf je na obr. 17 [39].



Obr. 17: Konturograf MarSurf VD 280 [39].

## 6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Celkové náklady na výrobu jedné dávky sestávají ze dvou na sobě nezávislých položek a lze je spočítat podle rovnice (5):

$$N_c = N_n + N_z \cdot d, \quad (5)$$

kde  $N_c$  jsou náklady celkové,  $N_n$  náklady nezávislé na počtu kusů v dávce (např. seřízení stroje) v korunách na celou dávku,  $N_z$  jsou náklady závislé vztažené na jeden kus (plynou především z jednotkového strojního času) v korunách a  $d$  je počet kusů v dávce [35].

Pro určení nezávislých nákladů bude nutné nejprve odhadnout dávkový čas  $t_B$ , ve kterém je zahrnuto upínání obrobku, výměna nástrojů, výměna upínače a seřizování stroje. V tomto případě nebude stroj v chodu, ale bude nutno zaplatit obsluhu, která bude provádět jeho seřízení. Pro průtlačnici je uvažováno s delším dávkovým časem z důvodu nutnosti vyměnit na stroji upínač. Výše zmíněný čas  $t_B$  v hodinách stačí vynásobit hodinovou mzdou nástrojaře, který bude stroj seřizovat. Tento plat se v české republice pohybuje kolem 33 000 Kč měsíčně, což je v přepočtu na hodinu cca 206 Kč. Vzhledem k objemu výroby a vypočteným strojním časům níže budou do těchto nákladů dále započteny ceny VBD, které mají být použity, jejich cena a počet jsou uvedeny v tabulce 17. Nezávislé náklady jsou potom uvedeny v tabulce 18. společně s odhadovaným dávkovým časem [40].

Tab. 17: Počet potřebných VBD a jejich cena [41].

Průtlačník		
VBD	Potřebný počet	Cena
CNMG 120408-PR 4325	1	327 Kč
CNMG 120408-PR-4425	1	337 Kč
DNGA 110408-SO-1525-H7115	1	2 890 Kč
Průtlačnice		
CNMG 120408-PR 4325	1	327 Kč
CNMG 120408-PR-4425	1	337 Kč
DNGA 110408-SO-1525-H7115	1	2 890 Kč
880-0704 W12H-P-GR 4344	1	492 Kč
880-0704 06H-C-GR 1044	1	492 Kč
SCMT 120412-PR 4325	1	369 Kč
DCGW 11T312 S0 1020 F 7115	1	1560 Kč

Tab. 18: Odhad dávkového času  $t_B$  a nezávislé náklady.

Součást	$t_B$	$N_n$
Průtlačník	60 min	3 760 Kč
Průtlačnice	90 min	3 222 Kč

Při výpočtu nezávislých nákladů  $N_n$  u součásti průtlačnice nebylo počítáno s VBD pro vnější obrábění (CNMG 120408-PR 4325, CNMG 120408-PR-4425, DNGA 110408-SO-1525-H7115) protože bude možné znovu využít použité VBD pro součást průtlačník.

Pro výpočet závislých nákladů bude nejprve nutné určit jednotkový strojní čas každé součásti. Budou k tomu použity rovnice (6), pro soustružení s konstantními otáčkami a rovnice (7) pro soustružení s konstantní řeznou rychlostí [42]:

$$t_{Asn} = \frac{L}{n \cdot f}, \quad (6)$$

$$t_{Asv} = \frac{\pi \cdot \left| (D_{max} + 2 \cdot l_n)^2 - (D_{min} + 2 \cdot l_p)^2 \right|}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f}, \quad (7)$$

Rovnice (7) bude využita pouze v případě soustružení čela průtlačnice, které bylo klasifikováno jako funkční plocha. Pro všechny ostatní dráhy nástrojů bude využita rovnice (6). Příklady výpočtu jsou uvedeny níže a vypočtené jednotkové časy  $t_{As}$  jsou v tabulce 18.

Příklad výpočtu  $t_{As}$  pro soustružení  $\emptyset 57_{-0,3}^{+0,1}$  v délce  $90^{+5}$  mm:

$$t_{Asn} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l}{\frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \cdot f}$$

$$t_{Asn} = \frac{1 + 90}{\frac{1000 \cdot 170}{\pi \cdot 58} \cdot 0,1} = 0,98 \text{ min}$$

Příklad výpočtu  $t_{As}$  pro dokončování čela průtlačnice klasifikovaného jako funkční plocha:

$$t_{Asv} = \frac{\pi \cdot \left| (D_{max} + 2 \cdot l_n)^2 - (D_{min} + 2 \cdot l_p)^2 \right|}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f}$$

$$t_{Asv} = \frac{\pi \cdot \left| (96,5 + 2 \cdot 0,5)^2 - (60,9 + 2 \cdot 0,5)^2 \right|}{4 \cdot 10^3 \cdot 180 \cdot 0,05}$$

$$t_{Asv} = 0,50 \text{ min}$$

Závislé náklady budou vypočteny z jednotkového strojního času, hodinové mzdy seřizovače a ceny elektrické energie, která činí 4,8 Kč za kWh. Zmíněné náklady jsou uvedeny v tabulce 19. [43].

Tab. 19: Jednotkový strojní čas  $t_{As}$  a závislé náklady  $N_z$ .

Součást	$t_{As}$	$N_z$
Průtlačník	5,02 min	25 Kč
Průtlačnice	3,00 min	15 Kč

Celkové náklady pak bude možné spočítat aplikací modifikované rovnice (6). V případě průtlačníku to bude rovnice (8):

$$N_{cPK} = N_{nPK} + N_{zPK} \cdot d, \quad (8)$$

kde  $N_{cPK}$  jsou celkové náklady na výrobu průtlačníku,  $N_{nPK}$  jsou nezávislé náklady na výrobu průtlačníku a  $N_{zPK}$  jsou závislé náklady na výrobu průtlačníku. A v případě průtlačnice rovnice (9):

$$N_{cPE} = N_{nPE} + N_{zPE} \cdot d, \quad (9)$$

kde jsou veličiny označeny analogicky jako rovnice (8). Celkové náklady jsou pak vypočteny v tabulce 20.

Tab. 20: Celkové náklady na výrobu průtlačníku a průtlačnice.

Průtlačník			
$N_{nPK}$	$N_{zPK}$	$d$	$N_{cPK}$
3 760 Kč	25 Kč	5 ks	3 885 Kč
Průtlačnice			
$N_{nPE}$	$N_{zPE}$	$d$	$N_{cPE}$
3 222 Kč	15 Kč	5 ks	3 297 Kč

Celkové náklady na výrobu pěti nástrojových sestav budou vypočteny z výše uvedené tabulky 20 sečtením celkových nákladů na výrobu průtlačníku ( $N_{cPK}$ ) a průtlačnice ( $N_{cPE}$ ). Tyto náklady činí **7 182 Kč**. Byly ovšem zanedbány náklady na brousící a leštící operace, protože přesně nelze určit přesný jednotkový strojní čas pro tyto operace. Dále byly zanedbány náklady na koupi soustružnických nožů a jiných nástrojů, protože je zde předpoklad i pro jiné využití. Nakonec byly také zanedbány náklady na obráběný materiál.



## ZÁVĚR

Pro výrobu součásti průtlačník a průtlačnice byla použita zejména technologie soustružení. Pro obrábění ve stavu po tepelném zpracování byly použity výhradně nástroje z CBN až na jednu výjimku, kterou je vnější kuželová plocha na součásti průtlačnice, pro tuto plochu byla využita technologie broušení. Pro dokončení všech funkčních ploch byly zvoleny leštící pasty s velikostí zrn abraziva 14  $\mu\text{m}$ , 8  $\mu\text{m}$  a 6  $\mu\text{m}$ . V případě že by tyto pasty nestačily na dosažení požadované drsnosti povrchu  $R_z = 1 \mu\text{m}$  je možné aplikovat pasty s ještě jemnějším abrazivem a to 3  $\mu\text{m}$  a 1  $\mu\text{m}$ .

Náklady na soustružnické operace pro pět nástrojových sestav byly spočteny na 7 182 Kč. Pro určení celkových nákladů bude nutné započítat náklady na materiál a jeho dělení, náklady na broušící operaci a náklady na leštící operaci. Tyto náklady nebyly započteny, protože není známa cena materiálu, nelze přesně stanovit jednotkový strojní čas pro operaci broušení a nelze přesně určit množství potřebné leštící pasty a dalších nástrojů pro leštění. Výše zmíněné náklady bude možné započítat až po ukončení výroby. V případě že by výroba součásti průtlačník a průtlačnice byla opakována je zde prostor pro snižování nákladů a zefektivňování výroby pro další dávky prostřednictvím:

- optimalizace řezných podmínek,
- znovupoužití VBD zejména těch vyrobených z CBN,
- leštění pomocí stroje.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

- [1] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
- [2] ŘASA, Jaroslav. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. 1. Praha: Scientia, 2003. ISBN 80-7183-284-7.
- [3] FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
- [4] PODANÝ, Kamil. *Přednášky CTT: 6. přednáška*. Brno, 2018.
- [5] Nástrojové materiály. *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik, 2021 [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/cutting-tool-materials.aspx>
- [6] KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 1. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s. r. o. Brno, 2001. ISBN 80 - 214 - 1996 - 2.
- [7] Performance evaluation of pure CBN tools for machining of steel. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2003, **140**(1-3), 326-331 [cit. 2021-03-31]. ISSN 0924-0136. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013603007465>
- [8] Nástrojová ocel. *Swiss steel* [online]. Swiss steel, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.swisssteel-international.cz/nastrojova-ocel.html>
- [9] *Voestalpine* [online]. Vyškov, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/cs/cs/>
- [10] Jakosti dle norem. *PRECIZ* [online]. Napajedla: PRECIZ, 2016 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.preciz.cz/sluzby/jakosti-dle-norem/details/5/13-13>
- [11] 19 830. *Lentus* [online]. Dolní Bousov: Lentus, 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.lentus-ocel.cz/19-830>
- [12] 1.3343 / 19 830 / HS6-5-2C / S6-5-2 / M2 / MAX SPECIAL MO 5. *Toolsteel* [online]. Kladno: Toolsteel, 2019 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/1-3343-19830-hs6-5-2c-s6-5-2-m2-max-special-mo-5/>
- [13] KUDELA, Miroslav. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. 1. české vydání. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972-2994-6.
- [14] 1.2358, 60CRMOV18-5 - TOOL STEEL. *Virgament* [online]. Koło (Greater Poland): Virgament, 2021 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://virgamet.com/60crmov185-1-2358-tool-steel>
- [15] W. NR. 1.2358. *JKZ Bučovice a. s* [online]. Bučovice: JKZ Bučovice a. s, 2020 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/na-vyrobu-forem/w-nr-12358/>
- [16] Otočný hrot OPTIMUM s kuzelem MK 3. *BOW: První Hanácká* [online]. Olomouc, 2018 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/produkt/3440703/otocny-hrot-optimum-s-kuzelem-mk-3>

- [17] Grade GC4325 brings a new generation of performance to steel turning. *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/news/press\\_releases/pages/gc4325.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/news/press_releases/pages/gc4325.aspx)
- [18] *Pramet: Katalog*. 1. Šumperk: Pramet, 2017.
- [19] *Soustružnické nástroje: Katalog*. Sandvik, 2020.
- [20] Nástrojové třídy a břitové destičky pro soustružení ocelí: GC4425 a GC4415. *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/turning-inserts-grades-steel/pages/default.aspx>
- [21] Drsnosti povrchů a jejich značení a převodník. *Mikon tools* [online]. Brno: Mikon tools, 2021 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.mikon-tools.cz/drsnosti-povrchu-a-jejich-znaceni-a-prevodnik/>
- [22] Nástrojové třídy a břitové destičky pro soustružení tvrzených ocelí. *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik, 2021 [cit. 2021-04-28]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/turning-inserts-grades-hardened-steel/pages/default.aspx>
- [23] DNGA110408S01525H 7105. *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/pages/productdetails.aspx?c=dnga110408s01525h%207105>
- [24] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [25] 400 PROFI A-CNC / Profi. *PEGAS-GONDA: Pásové pily na kov* [online]. Slavkov u Brna, 2021 [cit. 2021-05-06]. Dostupné z: <https://www.pegas-gonda.cz/cs/product/50/400-profi-a-cnc-dvouloupova-pasova-pila-pegas-400-profi-a-cnc>
- [26] Pilové pásy Honsberg. *Pegas gonda* [online]. Slavkov u Brna: Pegas gonda, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.pegas-gonda.cz/cs/category/28/pilove-pasy-honsberg-pilove-pasy-honsberg>
- [27] CNC Turning and Milling Machine DMG MORI NLX 2500 MC /700, Year of manufacturing 2014. *Industry-pilot* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://industry-pilot.com/en/CNC-Turning-and-Milling-Machine-DMG-MORI-NLX-2500-MC-700/p155269>
- [28] Rozpínací trn KEM-ES-A5. *KitaGawa* [online]. Brno: KitaGawa [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.kitagawa.global/cz/products/klestinove-upinace/rozpinci-trny/kem-es-a5-expanding-mandrel>
- [29] 880-D4000L40-03. *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-us/products/pages/productdetails.aspx?c=880-d4000l40-03>
- [30] *Rotační nástroje: Katalog*. Sandvik, 2020.
- [31] *Hoffman Group*. 1. Nürnberg, 2020. Dostupné také z: [https://ecatalog.hoffmann-group.com/index.html?country=ces\\_CZ\\_CZE/catalogs/&catalog=90000002#page\\_1](https://ecatalog.hoffmann-group.com/index.html?country=ces_CZ_CZE/catalogs/&catalog=90000002#page_1)
- [32] Příklad značení kotoučů TYROLIT dle tvaru, rozměru a kvality. *TechCentrum* [online]. Česká Třebová: TechCentrum, 2020 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z:

<https://www.prodejbrusiva.cz/priklad-znacení-kotoucu-tyrolit-dle-tvaru-rozmeru-a-kvality-techcentrum>

- [33] *Katalog skladových výrobků: Pro precizní broušení*. Tyrolit, 2015.
- [34] Lean Selection allround - Hrotové brusky. *Brousící stroje JUNKER-vysoce přesné obrábění kovů* [online]. Nordrach Germany: JUNKER, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <http://junkerdev.sin2.hostingkunde.de/cs/brousici-stroje/products/lean-selection-allround/#>
- [35] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-2091-6.
- [36] KEMET pasty, typ S. *Mepac* [online]. Třinec: Mepac, 2021 [cit. 2021-05-13]. Dostupné z: <https://mepac.shop/cs/c/kemet-pasty-typ-s>
- [37] 2. *Brousící nástroje a pomůcky s naneseným brusivem: Katalog*. Mladá Boleslav: Abrasiv, 2021.
- [38] 3. *Nástroje pro leštící a dokončovací operace: Katalog*. Mladá Boleslav: Abrasiv, 2021.
- [39] MARSURF VD 280 PRACOVISTĚ NA MĚŘENÍ DRSNOSTI A OBRYSU. *Mahr* [online]. Mahr, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.mahr.de/cs/Produkty-a-slu%C5%BEby/V%C3%BDrobn%C3%AD-m%C4%9B%C5%99ic%C3%AD-technika/Produkty/MarSurf---Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C4%9B-%C5%99%C3%ADzen%C3%A1-za%C5%99%C3%ADzen%C3%AD-na-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-drsnosti/MarSurf-VD-140---280/>
- [40] Kolik si vydělá Seřizovač CNC Strojů v Česko?. *Indeed* [online]. Indeed, 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://cz.indeed.com/career/se%C5%99izova%C4%8D-cnc-stroj%C5%AF/salaries>
- [41] *Sandvik* [online]. Praha: Sandvik, 2021 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/pages/default.aspx>
- [42] *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část*. Brno, 2003. Dostupné také z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf)
- [43] Aktuální (průměrná) cena 1 kWh elektřiny Více zde: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>. *Energie123* [online]. 2021 [cit. 2021-05-14]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

Zkratka	Jednotka	Popis
C	[-]	uhlík
CBN	[-]	kubický nitrid boru
Cr	[-]	chrom
Fe	[-]	železo
HB	[-]	tvrdost podle Brinela
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwela
Mn	[-]	mangan
Mo	[-]	molybden
P	[-]	fosfor
S	[-]	síra
Si	[-]	křemík
V	[-]	vanad
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
W	[-]	wolfram

Symbol	Jednotka	Popis
$a_p$	[mm]	šířka záběru hlavního ostří nástroje
$d$	[ks]	počet kusů v dávce
$f$	[mm]	posuv
$F$	[N]	protlačovací síla
$N_c$	[Kč]	celkové náklady
$N_{cPE}$	[Kč]	celkové náklady na výrobu průtlačnice
$N_{cPK}$	[Kč]	celkové náklady na výrobu průtlačníku

$N_n$	[Kč]	nezávislé náklady na počet kusů v dávce
$N_{nPE}$	[Kč]	nezávislé náklady na výrobu průtlačnice
$N_{nPK}$	[Kč]	nezávislé náklady na výrobu průtlačníku
$N_z$	[Kč]	závislé náklady na počtu kusů v dávce
$N_{zPE}$	[Kč]	závislé náklady na výrobu průtlačnice
$N_{zPK}$	[Kč]	závislé náklady na výrobu průtlačníku
$R$	[%]	redukce průřezu
$R_a$	[ $\mu\text{m}$ ]	střední aritmetická úchylka profilu
$R_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	výška nerovnosti profilu měřená na deseti bodech
$t_{As}$	[min]	jednotkový strojní čas
$t_{Asn}$	[min]	jednotkový strojní čas s konstantními otáčky
$t_{Asv}$	[min]	jednotkový strojní čas s konstantní řeznou rychlostí
$t_B$	[min]	dávový čas
$v_c$	[ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$ ]	řezná rychlost
$\sigma_d$	[MPa]	deformační odpor
$\sigma_p$	[MPa]	přetvárný odpor

**SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1 Výkres součásti průtlačník

Příloha č. 2 Výkres součásti průtlačnice

Příloha č. 3 Technologický postup pro součást průtlačník

Příloha č. 4 Technologický postup pro součást průtlačnice